05

Biocarvão de casca de eucalipto: efeito sobre atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com *Eucalyptus urograndis*

Renato Ribeiro Passos
UFES

Danilo Andrade Santos
UFES

Amanda Faé Sartori
UFES

Alex Justino Zacarias
UFLA

Carla Cristina da Silva
UFES

Otacílio José Passos Rangel
UFES

Lázaro Longue Mosa
UFLA

Demetrius Profeti
UFES

Luciene Paula Roberto Profeti
UFES

Ronaldo Willian da Silva
UFES

doi 10.37885/210605169

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

RESUMO

Tendo em vista a importância da matéria orgânica para a melhoria e manutenção da fertilidade do solo, formas de manejo que visem a manutenção e adição de matéria orgânica aos sistemas agrícolas são necessárias. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da aplicação de biocarvão de casca de eucalipto sobre os atributos químicos de solo cultivado com eucalipto. Um ensaio de campo foi estabelecido com um esquema fatorial 2 x 5: duas temperaturas de pirólise (350 °C e 600 °C) e cinco doses de biocarvão (0; 0,25; 0,5; 1; e 2% volume/volume). Ao 365 e 730 dias após a implantação do experimento, foram realizadas amostragens de solo para determinação em laboratório dos seguintes atributos químicos do solo: pH, Al, Ca, Mg, Na, K, H+Al, nas profundidades de 0-10 cm e 10-30 cm e com bases nos dados obtidos foram também calculados os índices SB, CTC e V. Os resultados experimentais mostram que não foram observados efeitos das temperaturas de pirólise e das doses dos biocarvões aplicados sobre os atributos químicos do solo avaliados nos dois primeiros anos após o plantio de eucalipto. Contudo são identificadas mudanças nos atributos químicos do solo entre as épocas de avaliação. Os resultados apresentados indicam o potencial que biocarvões de casca de eucalipto possuem para serem incorporados no processo de produção da própria cadeia produtiva do eucalipto por contribuírem para melhores condições para a fertilidade do solo, por um lado agindo como corretivo de acidez do solo e por outro como fonte de nutrientes.

Palavras-chave: Matéria Orgânica Carbonizada, Fertilidade do Solo, Solos Florestais.

■ INTRODUÇÃO

Solos de elevado grau de intemperismo e de baixa fertilidade natural possuem um alto grau de dependência do conteúdo orgânico para potencializar seu papel na nutrição e desenvolvimento de plantas cultivadas. A fração orgânica atua nestes solos otimizando atributos fundamentais para o desenvolvimento vegetal, agindo como fonte de nutrientes e também como fonte de cargas elétricas para a retenção e posterior fornecimento de nutrientes, evitando assim perdas dos mesmos por lixiviação; melhora ainda a estrutura do solo, reduzindo a resistência do solo à penetração de raízes e aumentando a aeração e retenção de água, consequentemente disponibilizando uma maior quantidade de água para absorção pelas plantas (SANTOS *et al.*, 2008; BRAIDA *et al.*, 2011).

Biocarvões, nome dado a materiais orgânicos sólidos, parcial ou completamente carbonizados, oriundos de processos de carbonização controlada e muitas vezes associados a produção de bioenergia, possuem um potencial interessante para serem adicionados ao solo para fins de produtividade vegetal, por alterarem atributos biológicos (LEHMANN *et al.*, 2011), físicos (MUKHERJEE; LAL, 2013) e químicos (GUL *et al.*, 2015) dos solos de interesse agrícola.

As principais características dos biocarvões como condicionadores de solo, e consequentes efeitos sobre atributos de interesse para a produção vegetal, são a sua alta porosidade e área superficial específica associada à presença de cargas elétricas provenientes de grupos funcionais ligados à estrutura aromática resultantes das moléculas orgânicas carbonizadas, além do conteúdo mineral, caracterizados principalmente pelas cinzas presentes nestes materiais. Tais características são, em presença e magnitude, variáveis em função, principalmente, da biomassa precursora e das condições de produção (LEHMANN; JOSEPH, 2015).

Estudos relatam que o uso de biocarvões como condicionador de solo contribui para o crescimento e nutrição de plantas por serem: em muitos casos de propriedades alcalinas, elevando assim o pH de solos ácidos (ZHU *et al.*, 2014; FIDEL *et al.*, 2017); fontes de nutrientes (TAN *et al.*, 2017; LIMWIKRAN *et al.*, 2018); e por contribuírem para o desenvolvimento da microbiota benéfica à nutrição de plantas (SHEN *et al.*, 2016); além elevarem a capacidade de retenção de água do solo (OMONDI *et al.*, 2016), dentre outros aspectos. Contudo os resultados são variáveis principalmente em função do tipo de matéria prima, temperatura de pirolise e de dose aplicada (El-NAGGAR *et al.*, 2019).

Nos últimos dez anos tem sido publicados trabalhos investigando o papel desses materiais em sistemas silvícolas sob plantio de eucalipto (PEREIRA *et al.*, 2013; LEAL *et al.*, 2015; FARIAS *et al.*, 2016; PEIXOTO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; WOICIECHOWSKI *et al.*, 2018), relatando importantes informações como aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), nutrientes e disponibilidade de água nos solos, contudo são ausente trabalhos

em sistema de produção de eucalipto que englobem a aplicação de biocarvões oriundo de resíduos da própria produção de eucalipto, tal como a casca de eucalipto.

Para a produção de biocarvão tem sido dado prioridade ao uso de materiais residuais de difícil destino, ou ainda aqueles resíduos cujo potencial pode ser melhor aproveitado indicando-se sua aplicação para outros fins, tais como processos de conversão energética em reatores de pirólise, processo esse que gera basicamente três tipos de produtos: um gás e um líquido, ambos de alto valor energético, e um material sólido, o biocarvão (PASSOS *et al.*, 2016).

Dentro da cadeia produtiva do eucalipto e produção de celulose existe uma série de resíduos que podem ser empregados, encontrando-se na casca de eucalipto um dos destaques. A casca de eucalipto é um resíduo gerado principalmente nos processos de colheita silvícola e em pátios de beneficiamento da madeira. A casca apresenta composição orgânica muito próxima à própria madeira do eucalipto, segundo os teores de holocelulose e lignina, se diferenciando por um maior teor de extrativos totais (ANDRADE *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

A matriz lignocelulósica (ANDRADE *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010) da casca de eucalipto e o elevado volume gerado deste resíduo nos processos de produção desta espécie silvícola (MIRANDA *et al.* 2002; SEIXAS *et al.*, 2005; YADAV *et al.*, 2002) conferem ao mesmo uso potencial em processos de conversão energética via pirólise da biomassa, cujo aproveitamento do resíduo sólido (biocarvão), deste processo, pode potencializar e elevar seu uso dentro da cadeia produtiva do eucalipto, retornando assim a casca de eucalipto carbonizada como um produto condicionador de solo nas áreas de cultivo do eucalipto, ou mesmo em outros sistemas de produção vegetal, somado ainda à potencialidade destes materiais em estocar carbono no solo por um período mais elevado que a biomassa in natura.

Neste capítulo objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses de biocarvão de casca de eucalipto, produzidos sob duas temperaturas de pirólise, sobre os atributos químicos do solo sob cultivo de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

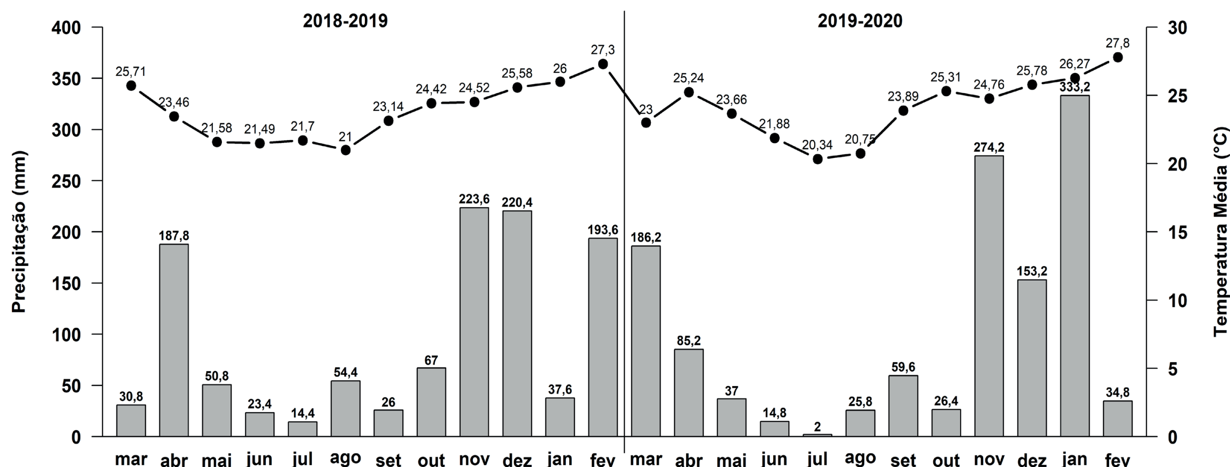
Área de instalação do experimento

Um ensaio de campo foi estabelecido na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre, localizado em Rive, distrito de Alegre, Estado do Espírito Santo, nas coordenadas geográficas de latitude Sul de 20° 46’ 7,436” S e longitude Oeste de 41° 27’ 16.243” W com altitude de 131 metros sob Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média.

O clima da região é classificado como Aw na classificação climática de Köppen-Geiger, caracterizado por apresentar clima tropical com verão quente e chuvoso e inverno seco.

Durante o período de estudo desse trabalho foram contabilizados um total de precipitação de 2.048,27 mm de precipitação e temperatura média de 24,7°C entre o período de 15 de março de 2018 a 28 de fevereiro de 2020 (INMET, 2020). As médias mensais de temperatura e precipitação durante o período estudado são apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Temperatura média e precipitação mensal durante o período de estudo no município de Alegre/ES. Período experimental março de 2018 a fevereiro de 2020.



Antes da instalação do experimento ocorreram diferentes usos do solo na área. Em 2011, era utilizada para criação de gado com sistema de piquetes. No ano de 2012 foi inserida a criação de caprinos. A pastagem era conduzida com correção de acidez do solo, adubações de manutenção e irrigação. A figura 2 mostra a localização da área experimental, dentro da área experimental do Ifes – Campus de Alegre.

Figura 2. Mapa da área experimental referente ao ano de 2020, localizada em Rive, distrito de Alegre, Estado do Espírito Santo.



Produção de caracterização dos biocarvões

As cascas de eucalipto foram provenientes de resíduos do beneficiamento de plantios da região do Sul do Estado do Espírito Santo, sendo o material fornecido pela Usina Bragança. As cascas foram picadas para redução do tamanho inicial e então carbonizadas em reator de pirólise, sob duas temperaturas finais (350 °C e 600 °C), com tempo de residência na temperatura final de 60 min.

Para caracterização dos biocarvões, amostras passaram pelas seguintes análises: teores de C, H, O e N em analisador elementar (PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O); teores dos nutrientes P, K, Ca, Mg, pela incineração das amostras (1 g) em forno tipo mufla (550 °C por 4 h), com a solubilização das cinzas em HCl 0,5 mol L^{-1} e dosagem por espectrofotometria de emissão atômica com plasma induzido (EEA-PI); pH em água (1:20) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Teores elementares1 C, H, N e O e relações C/N, H/C e O/C em biocarvões de casca de eucalipto produzidos sob diferentes temperaturas de pirólise (350 e 600 ºC).

Biocarvão/ Temperatura	Teor elementar (%)				C/N	H/C	O/C
	C	H	N	O			
350 °C	54,99	3,12	0,60	41,28	107,01	0,68	0,56
600 °C	65,05	1,44	0,51	34,37	149,80	0,26	0,38

[1]Determinados em Analisador Perkin Elmer Serie II 2400; O (%) =100-C-H-N.

Tabela 2. pH e teores totais[1] de macronutrientes presentes nos biocarvões de casca de eucalipto produzidos sob diferentes temperaturas de pirólise (350 ºC e 600 ºC).

Variável	350 ºC	600 ºC
pH	7,1	8,1
P (dag kg^{-1})	0,07	0,09
K (dag kg^{-1})	0,57	0,70
Ca (dag kg^{-1})	2,64	3,31
Mg (dag kg^{-1})	0,41	0,57

[1]Obtidos por digestão nitroperclórica (Teixeira et al., 2017).

Delineamento experimental

Em março de 2018, o ensaio de campo foi estabelecido distribuindo os tratamentos sob um delineamento em blocos casualizados em um esquema fatorial 2 x 5, com três repetições. Os fatores estudados foram: duas temperaturas (350 ºC e 600 ºC) e cinco doses de biocarvão (0; 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 % de volume/volume, considerando-se o volume de solo do sulco de plantio).

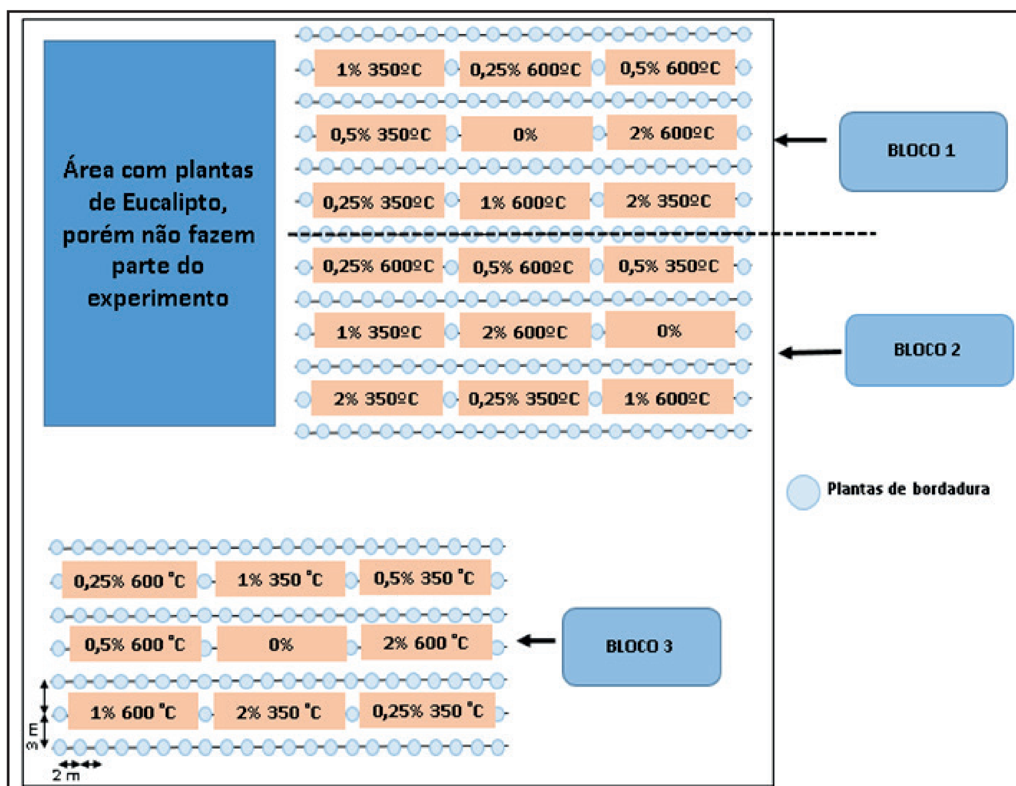
Cada tratamento, em cada bloco, foi composto por um total de 6 plantas de *Eucalyptus urograndis*, dispostas em linhas, previamente sorteadas em cada bloco. Os biocarvões foram distribuídos previamente ao plantio, em sulco, com profundidade de 30 cm e largura de 40 cm (Figura 3). O espaçamento aplicado para o plantio foi de 3 m entre linhas de plantio por

2 m entre plantas. Entre cada tratamento e bloco foi introduzida uma linha de plantio sem a adição de biocarvão, constituindo assim as bordaduras do experimento (Figura 4).

Figura 3. Biocarvões no sulco de plantio.



Figura 4. Croqui da área representando a distribuição espacial dos tratamentos dispostos em cada bloco.



Caracterização química e física do solo

Visando à caracterização química e física do solo, bem como a adequada divisão dos blocos de plantio, antes da implantação do experimento, amostras de solo foram coletadas e caracterizadas química e fisicamente na profundidade de 0-30 cm (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Caracterização[1] química do solo utilizado na montagem do experimento.

$pH(H_2O)$	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	T	SB	V
-------mg/dm³------			-----------------cmolc/dm³ -------------							%
5,88	13,64	125,00	6,00	2,30	1,01	0,00	2,58	6,25	3,66	58,4

[1]pH em H_2O (relação 1:2,5); K , Na = potássio e sódio trocáveis por fotometria de chama, após extração com Mehlich-1; Ca, Mg = cálcio e magnésio trocáveis por extração com cloreto de potássio e determinação em absorção atômica; Al = alumínio trocável extraído com KCl e determinação por titulação; H +Al = acidez potencial por extração com acetato de cálcio e determinação por titulação; P = fósforo por colorimetria após extração com Mehlich-1; T (Capacidade de troca de cátions potencial) = (K/390)+(Na/230)+Ca+Mg+(H+Al) (Teixeira et al., 2017).

Tabela 4. Caracterização[1] física do solo utilizado na montagem do experimento.

Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
68	7	25	Textura média

[1]Silte e argila: Método da pipeta -agitação lenta.

Atividades de manutenção

Durante a condução do experimento, foram realizadas as atividades de manutenção da área de estudos, por meio do controle de pragas e doenças, irrigação, roçagem, adubação e controle de plantas invasoras.

Devido às condições de fertilidade do solo (Tabela 3), já favoráveis à cultura do eucalipto, optou-se pela ausência de correção da acidez do solo. Desta forma, seguiram-se apenas as recomendações de adubação de manutenção. A primeira parcela de adubação ocorreu durante o plantio das mudas de eucalipto, onde a adubação fosfatada foi realizada em dose única no plantio e dividida em duas partes de mesma massa que foram aplicadas em lados adjacentes às mudas (10 cm) na profundidade de 30 cm, e quantidade total equivalente a 20 kg de P_2O_5 ha^{-1} com base numa camada de 20 cm de solo. As adubações nitrogenada e potássica foram aplicadas em um total equivalente a 40 kg de N ha^{-1} e 30 kg K_2O ha^{-1}, respectivamente, sendo divididas em 3 parcelas, uma em plantio, juntamente com a adubação fosfatada, e duas em cobertura aos 90 dias e aos 270 dias após o plantio, realizadas na projeção da copa da planta.

As adubações foram realizadas utilizando os formulados N-P-K, 03-17-00 mais 12-00-12, durante o plantio para suprir a demanda dos três nutrientes, e com somente o 12-00-12 para suprir a demanda por N e K durante as adubações de cobertura.

Determinações experimentais

Aos 365 e 730 dias após o plantio do eucalipto, foram realizadas amostragens de solo nas linhas de plantio, no centro da distância entre duas plantas, na posição média da linha de cada tratamento, nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm para avaliar o efeito dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

A partir das amostras coletadas, realizaram-se as seguintes análises químicas: pH em água; Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, na proporção 1:10, sendo Al^{3+} determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} e Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotômetro de absorção atômica; Na^+, K^+ e P disponíveis por extração com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}), sendo o Na^+ e o K^+ determinados por fotometria de chama e o P por colorimetria; acidez potencial (H+Al) utilizando $Ca(OAc)_2$ 0,5 mol L^{-1}, ajustado para pH 7,0, titulado com NaOH 0,0606 mol L^{-1}. Todos os métodos seguindo as recomendações conforme Teixeira *et al.* (2017). Com bases nos dados obtidos foram também calculados os índices: soma de bases (SB) obtida pela soma dos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+; CTC total (T) obtida pela soma da SB mais a acidez potencial; e por último a saturação por bases (V) obtida pelo valor percentual da SB em relação a T.

Análises estatísticas

O conjunto de dados de cada atributo avaliado foi submetido à análise de variância para obtenção da soma dos quadrados e graus de liberdade dos resíduos. Seguiu-se então com a análise, via contrates ortogonais (Tabela 5), onde os contrastes C1 e C2 avaliam as diferenças entre temperaturas de pirólise em que foram produzidos os biocarvões em uma mesma época de avaliação e os contrastes C3 e C4 avaliam o efeito do tempo (época de avaliação) para os dados obtidos em tratamentos sob aplicação de um mesmo tipo de biocarvão/temperatura de pirólise. Foram também realizadas análises de regressão a fim de investigar a relação entre as doses dos biocarvões sobre os atributos químicos do solo avaliados. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o software R (R Core Team, 2021).

Tabela 5. Coeficientes e contrastes ortogonais aplicados aos atributos químicos do solo estudados

Tratamentos	C1*	C2	C3	C4
350 °C/365 dias	1	0	1	0
600 °C/365 dias	-1	0	0	1
350 °C/730 dias	0	1	-1	0
600 °C/730 dias	0	-1	0	-1

* **C1** = 350°C vs 600°C/365 dias; **C2** = 350°C vs 600°C/730 dias; **C3** = 350°C/365 dias vs 350°C/730 dias; **C4** = 600°C/365 dias vs 600°C/730 dias;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os atributos estudados não foram identificados efeitos de doses dos biocarvões sobre os atributos químicos do solo avaliados e, portanto, não foi possível ajustes de regressão com coeficientes significativos. Desta forma, a seguir são apresentados os resultados somente no que se referem às avaliações dos contrastes ortogonais.

Acidez do Solo

Os parâmetros que descrevem a acidez do solo são fatores chave dos atributos químicos do solo por determinarem a performance de disponibilidade de nutrientes para nutrição de plantas, bem como a presença ou ausência de elementos tóxicos ao desenvolvimento de plantas cultivadas. Assim, por exemplo, valores de acidez ativa (pH) entre 5,7 e 6,0 são indicados para a maioria das culturas como intervalo ótimo para o seu desenvolvimento e produtividade (SOUSA *et al,* 2007). Sob esta faixa de pH, além de potencializar a disponibilidade do grupo de elementos essenciais ao desenvolvimento de plantas, também mantem a acidez trocável (Al^{3+}), prejudicial ao crescimento de raízes, inativa.

As principais espécies de eucalipto plantadas no Brasil suportam a níveis de acidez do solo onde a maior parte das plantas cultivadas tem seu desenvolvimento prejudicado, tolerando inclusive níveis de saturação de Al^{3+} no solo de até 45% (ALVAREZ V. e RIBEIRO, 1999). Portanto, os valores dos atributos de acidez do solo observadas neste ensaio de campo (Tabela 6) não apresentam valores que prejudiquem o desenvolvimento das árvores. Os valores médios obtidos, nas avaliações do primeiro e segundo ano, para pH variaram entre 5,38 e 5,99, valores estes que consequentemente são acompanhados de valores muitos baixos ou nulos de Al^{3+}, que por sua vez variaram entre 0,0 e 0,20 $cmol_c/dm^3$ (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios dos atributos pH, Al^{3+} e H+Al nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm, em função dos tipos de biocarvão (350°C e 600°C) e épocas de avaliação (365 dias e 730 dias).

Variável	365 dias		730 dias	
	350°C	600°C	350°C	600°C
	------------------------ 0-10 cm ------------------------			
pH (em água)	5,78	5,99	5,38	5,58
Al^{3+} (cmolc dm^{-3})	0,00	0,00	0,12	0,15
H+Al (cmolc dm^{-3})	3,23	3,04	2,12	1,92
	------------------------ 10-30 cm ------------------------			
pH (em água)	5,83	5,92	5,39	5,65
Al^{3+} (cmolc dm^{-3})	0,00	0,00	0,20	0,04
H+Al (cmolc dm^{-3})	2,98	2,65	2,03	1,82

A acidez potencial, caracterizada pelo H+Al determinado sob solução em pH 7,0, por um lado auxilia na estimativa da capacidade de troca catiônica potencial do solo (CTC total), por outro faz parte dos componentes do poder tampão de acidez do solo (poder de resistência à mudança de pH). Os valores aqui obtidos variam entre 1,82 a 3,23 $cmol_c/dm^3$ (Tabela 6) para as camadas de solo estudadas, valores este que ocupam cerca de 35 a 40% dos sítios de troca do solo (CTC total).

Ao se submeterem os dados obtidos à avaliação via contrates ortogonais, verifica-se não haver diferenças estatisticamente significativas para nenhum dos parâmetros de acidez do solo, quando comparados os dois tipos de biocarvões utilizados (350 °C vs 600 °C) nos tratamentos, tanto nos contrastes que avaliam diferenças entre biocarvões no primeiro (C1), quanto no contraste que realiza a mesma comparação com os dados obtidos no segundo ano (C2) (Tabela 7).

Tabela 7. Contrastes ortogonais obtidos e suas significâncias, para os atributos pH, Al e H+Al nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm do solo

Variável	C1*	C2	C3	C4
	------------------------ **0-10 cm** ------------------------			
pH (em água)	-0,212^{ns}	-0,200^{ns}	0,396*	0,408*
H+Al (cmolc dm^{-3})	0,193^{ns}	0,207^{ns}	1,105***	1,119***
	------------------------ **10-30 cm** ------------------------			
pH (em água)	-0,089^{ns}	-0,263^{ns}	0,441*	0,266
H+Al (cmolc dm^{-3})	0,334^{ns}	0,210^{ns}	0,953***	0,829**

* **C1** = 350°C vs 600°C/365 dias; **C2** = 350°C vs 600°C/730 dias; **C3** = 350°C/365 dias vs 350°C/730 dias; **C4** = 600°C/365 dias vs 600°C/730 dias; ***significativo a 0,1% pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; e ns: Não significativo pelo teste F.

Contudo, diferenças estatísticas foram verificadas, em ambas as camadas estudadas, ao se investigar o efeito da época de avaliação tanto nos tratamentos com biocarvão de 350 °C (C3), quanto nos tratamentos sob biocarvões de 600 °C (C4). Tais diferenças foram observadas no sentido de redução dos valores dos parâmetros de acidez do primeiro para o segundo ano de avaliação (Tabela 7).

Importante ressaltar que é comum que os biocarvões geralmente apresentem predominância de características alcalinas, portando quando aplicado ao solo tendem a elevar os valores de pH, reduzindo assim a acidez do solo (JEFFERY *et al.*, 2017). FIDEL *et al.* (2017) relatam pelo menos quatro fontes de alcalinidade nos biocarvões, sendo elas: grupos funcionais orgânicos de superfície de pKa elevado, compostos orgânicos solúveis, carbonatos e outros compostos inorgânicos.

Todas as fontes de alcalinidade citadas possuem efeito de caráter temporário. Enquanto os compostos orgânicos solúveis, carbonatos e os compostos inorgânicos são prontamente disponibilizados, via de regra, já no momento de aplicação dos biocarvões no solo, os grupos funcionais orgânicos por sua vez podem tanto já estarem presentes no momento em que os biocarvões são aplicados ou ainda serem desenvolvidos a partir dos processos de transformação dos biocarvões no solo (Tozzi *et al.* 2019). Além disso, espera-se que biocarvões produzidos sob temperatura mais elevadas de pirolise possuam reduzida quantidade de grupos funcionais quando comparados com biocarvões produzidos sob menor temperatura de pirolise (Novotny *et al.* 2015).

Teores de P, K^+, Na^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}

Os teores dos elementos P, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} obtidos após as extrações com solução Mehlich-1 (P) e KCl (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) indicam o nível de disponibilidade destes nutrientes no solo para fins de nutrição de plantas. Ao se avaliar a classificação de disponibilidade dos valores obtidos nos tratamentos deste estudo a partir dos parâmetros indicados na 5ª aproximação do Manual de Calagem e Adubação do Estado do Espírito Santo (PREZOTTI *et al.*, 2007), verifica-se que os valores de P, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}, em ambas camadas estudadas, apresentados na Tabela 8, são classificados como médios em todos os tratamentos estudados.

Tabela 8. Valores médios dos elementos P, K, Na, Ca e Mg nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm do solo, em função dos tipos de biocarvão (350°C e 600°C) e épocas de avaliação (365 dias e 730 dias).

Variável	365 dias		730 dias	
	350°C	600°C	350°C	600°C
	------------------------ 0-10 cm ------------------------			
P (mg dm^{-3})	21,51	19,38	11,59	10,10
K^+ (mg dm^{-3})	106,70	108,25	75,40	92,73
Na^+ (mg dm^{-3})	4,00	5,15	2,00	2,00
Ca^{2+} (cmolc dm^{-3})	2,86	3,17	2,08	2,37
Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})	3,16	3,37	0,90	0,93
	------------------------ 10-30 cm ------------------------			
P (mg dm^{-3})	14,36	15,22	8,37	8,57
K^+ (mg dm^{-3})	88,20	105,78	60,80	71,07
Na^+ (mg dm^{-3})	3,52	5,75	1,73	2,27
Ca^{2+} (cmolc dm^{-3})	2,59	3,03	2,05	2,49
Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})	3,22	3,08	0,86	0,93

Os teores médios de P, obtidos na camada de 0-10 cm na avaliação após primeiro ano (Tabela 8) apresentam valores mais elevados que os valores inicialmente observados deste elemento no solo antes da implantação do experimento (Tabela 3). Diferentes fatores podem ter contribuído para esta constatação, tais como: (I) Os biocarvões são fontes de P, (II) O fósforo é um elemento pouco móvel no solo (NOVAIS et. al., 1999), (III) A adubação fosfatada neste experimento foi realizada muito próxima à planta (10 cm), (IV) As amostragens para avaliação do estado de fertilidade do solo ocorreram na linha de plantio, onde os biocarvões foram aplicados, porém distanciadas das plantas e (V) durante a primeira amostragem de solo o dossel da planta ainda não cobria todo o solo indicando assim espaços ainda não explorados pelas raízes na linha e aplicação dos biocarvões, preservando assim o conteúdo de P nos pontos de amostragem do solo.

Em contrapartida, os teores de P obtidos após dois anos de avaliação (Tabela 8) reforçam as constatações anteriores já que: (I) foram bem menores que os valores incialmente observados (Tabela 3), (II) podendo assim ser função tanto do próprio efeito de adsorção de P pelos coloides do solo quanto função da absorção de P pelas plantas que no segundo

ano de avaliação apresentavam dossel completamente fechado e, portanto, indicando uma maior distribuição de raízes explorando toda linha de plantio. Tais diferenças são estatisticamente identificadas ao se avaliarem os contrastes C3 e C4 na camada de 0-10 cm (Tabela 9).

Tabela 9. Contrastes ortogonais obtidos e suas significâncias, para os elementos P, K, Na, Ca e Mg nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm do solo.

Variável	C1*	C2	C3	C4
	------------------------ 0-10 cm ------------------------			
P (mg dm^{-3})	2,124^{ns}	1,488^{ns}	9,923*	9,287*
K^+ (mg dm^{-3})	-1,547^{ns}	-17,333^{ns}	31,299*	15,513^{ns}
Na^+ (mg dm^{-3})	-1,150^{ns}	0,000^{ns}	2,004^{ns}	3,154*
Ca^{2+} (cmolc dm^{-3})	-0,307^{ns}	-0,289^{ns}	0,783*	0,801*
Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})	-0,213^{ns}	-0,030^{ns}	2,254***	2,438***
	------------------------ 10-30 cm ------------------------			
P (mg dm^{-3})	-0,866^{ns}	-0,203^{ns}	5,983^{ns}	6,646^{ns}
K^+ (mg dm^{-3})	-17,583^{ns}	-10,267^{ns}	27,402**	34,718*
Na^+ (mg dm^{-3})	-2,231*	-0,533^{ns}	1,783^{ns}	3,480**
Ca^{2+} (cmolc dm^{-3})	-0,437^{ns}	-0,446^{ns}	0,546^{ns}	0,537^{ns}
Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})	0,139^{ns}	-0,072^{ns}	2,364***	2,153***

* **C1** = 350°C vs 600°C/365 dias; **C2** = 350°C vs 600°C/730 dias; **C3** = 350°C/365 dias vs 350°C /730 dias; **C4** = 600°C/365 dias vs 600°C/730 dias; ***significativo a 0,1% pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; e ns: Não significativo pelo teste F.

Após um ano de plantio, os teores de K (Tabela 8) pouco se diferem dos teores iniciais (Tabela 3). Os teores de Ca e Mg mesmo após um ano de plantio apresentaram valores médios mais elevados (Tabela 8) que os teores iniciais (Tabela 3). Efeitos semelhantes também são observados por Leal *et al.* (2015) e Woiciechowski *et al.* (2018) ao aplicarem biocarvão em plantio de Eucalyptus *benthamii*, principalmente aumento dos teores de K, Ca e Mg no solo.

Semelhantemente ao contrates obtidos para os parâmetros de acidez do solo, os contrastes obtidos para os dados que descrevem estes elementos também não indicam diferença estatística entre as temperaturas de pirólise nos dois momentos de avaliação (C1 e C2) (Tabela 9), contudo demonstram significância estatística ao se avaliar o efeito da época de avaliação (C3 e C4).

Tais diferenças observadas nos contrastes C3 e C4 (Tabela 9), quando estatisticamente identificadas, são no sentido de redução dos teores destes nutrientes no solo, fato plausível já que as árvores se encontram em pleno desenvolvimento e consequentemente absorvem ao longo do tempo os nutrientes do solo para suprirem as demandas fisiológicas.

Os teores de Na, também apresentram teores médias menores dos tratamentos estudados (Tabela 8) quando comparados com os teores iniciais (Tabela 3). Já ao se avaliar os contrastes foram verificadas diferenças significativas no contrastes C1 (350°C *vs* 600°C aos 365 dias após plantio) na camada de 10-30 cm cujos teores de Na sob tratamento com biocarvões de 600ºC foram mais elevados que sob biocarvões de 350°C. Também foi

verifica diferença significativa no contraste C4 (600°C aos 365 dias *vs* 600°C aos 730 dias) em ambas camadas de solos avaliadas com efeito de redução dos teores de Na no segundo ano de avaliação (Tabela 9).

Índices SB, CTC e V

Os índices soma de bases (SB), CTC total (T) e saturação por bases (V) são obtidos a partir dos dados dos parâmetros de acidez e teores de nutrientes já apresentados. A SB é o resultado da soma dos elementos básicos Ca, Mg, K e Na. A T é o resultado da soma da SB e a acidez potencial (H+Al) e representa uma estimativa da quantidade de sítios negativos disponíveis para ligação tanto dos elementos de carga positiva presentes no solo, principalmente, Ca, Mg, K e Na, quanto dos elementos ácidos do solo (H e Al), e a V é um índice relativo que reflete quantidade de bases (SB) que ocupam o total de sítio negativos no solo (T).

Assim como os parâmetros já discutidos em tópicos anteriores, observa-se que os valores destes índices se assemelharam entre os tratamentos sob as diferentes temperaturas de pirólise, quando avaliados sob uma mesma época de amostragem. Porém, diferenças marcantes podem ser verificadas para os índices SB e CTC total quando observados os valores obtidos para tratamentos sob um mesmo biocarvão entre as épocas de avaliação (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios dos atributos SB, T e V nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm do solo, em função dos tipos de biocarvão (350°C e 600°C) e épocas de avaliação (365 dias e 730 dias).

Variável	365 dias		730 dias	
	350°C	600°C	350°C	600°C
	------------------------ 0-10 cm ------------------------			
SB (cmolc dm^{-3}	6,31	6,84	3,18	3,55
T (cmolc dm^{-3})	9,54	9,88	5,31	5,46
V (%)	66,11	69,05	59,65	64,32
	------------------------ 10-30 cm ------------------------			
SB (cmolc dm^{-3})	6,06	6,41	3,07	3,61
T (cmolc dm^{-3})	9,04	9,05	5,09	5,43
V (%)	67,19	70,81	59,73	65,86

Os contrastes obtidos indicam as semelhanças estatísticas dos efeitos entre os biocarvões/temperaturas de pirólise, ao serem comparados em uma mesma época de avaliação (C1 e C2) e diferenças estatisticamente significativas dos índices SB e T quando estudado o efeito da época de avaliação para os tratamentos sob um mesmo tipo de biocarvão/temperaturas de pirólise (C3 e C4) (Tabela 11).

Tabela 11. Contrastes ortogonais obtidos e suas significâncias, para os atributos SB, T e V nas camadas de 0-10 cm e 10-30 cm.

Variável	C1*	C2	C3	C4
		------------------------ 0-10 cm ------------------------		
SB (cmolc dm⁻³)	-0,530^{ns}	-0,364^{ns}	3,126***	3,292***
T (cmolc dm⁻³)	-0,337^{ns}	-0,157^{ns}	4,231***	4,411***
V (%)	-2,942^{ns}	-4,671^{ns}	6,464*	4,735^{ns}
		------------------------ 10-30 cm ------------------------		
SB (cmolc dm⁻³)	-0,353^{ns}	-0,547^{ns}	2,988***	2,794***
T (cmolc dm⁻³)	-0,018^{ns}	-0,337^{ns}	3,941***	3,623***
V (%)	-3,623^{ns}	-6,131^{ns}	7,453*	4,946^{ns}

* **C1** = 350°C vs 600°C/365 dias; **C2** = 350°C vs 600°C/730 dias; **C3** = 350°C/365 dias vs 350°C /730 dias; **C4** = 600°C/365 dias vs 600°C/730 dias; ***significativo a 0,1% pelo teste F; ** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; e ns: Não significativo pelo teste F.

Por um lado, a soma de bases tende a ser elevada pela aplicação de biocarvões, já que esse material contém Ca, Mg e K em sua composição mineral (Tabela 2), servindo assim como fonte destes elementos para a nutrição de planta, por outro lado é natural que esse índice sofra decréscimo com o passar do tempo haja visto que os nutrientes ora adicionados ao solo são incorporadas às plantas para o crescimento.

A T por sua vez pode apresentar efeitos distintos ao longo do tempo. Leal *et al.* (2015), por exemplo, relata aumento na T do solo após 20 meses da aplicação de finos de biocarvão em solo sob plantio florestal. Tal aumento da quantidade de carga em solos sob biocarvão ocorre como consequência da presença de grupamentos funcionais nos biocarvões, que podem, como mencionado, estar presentes no momento de aplicação dos bicoarvões no solo ou serem desenvolvidos com o envelhecimento dos biocarvões no solo. Além disso, o aumento de cargas e consequentemente aumento da T no solo pode ser consequência da presença de coloides de carga variável no solo que podem aumentar em função do aumento do pH do solo.

Vale salientar que semelhantemente ao aumento da quantidade de cargas ao longo do tempo também pode ocorrer o efeito de redução como consequência da perda de grupamentos funcionais dos biocarvões e da própria matéria orgânica já presente no solo e também pela própria acidificação do solo reduzindo as cargas negativas de caráter variável, o que ajuda a explicar a redução da CTC total no segundo ano de avaliação.

Tais reduções concomitantes dos valores de soma de bases (SB) e CTC total (T) contribuem para a reduzida significância (C3) ou ausência de diferenças significativas (C4) para a saturação por bases (V) já que esse índice é um índice relativo e dependente dos valores obtidos para soma de bases (SB) e CTC total (T).

CONCLUSÕES

Não foram observados efeitos das temperaturas de pirólise e das doses dos biocarvões aplicados sobre os atributos químicos do solo avaliados nos dois primeiros anos após o plantio do eucalipto.

Contudo, são observadas mudanças nos atributos químicos do solo, principalmente aumento de pH, aumento do conteúdo de nutrientes e aumento da quantidade de cargas elétricas quando da aplicação dos biocarvões, sobretudo no primeiro ano de avaliação.

Tais ocorrências são de fundamental interesse para a produção silvícola do eucalipto, já que garantias de adequada nutrição de plantas contribuem para sobrevivência das plântulas em campo e estabelecimento do sistema de produção nos primeiros meses de desenvolvimento.

Os biocarvões de casca de eucalipto utilizados apresentam potencial para serem incorporados como condicionadores de solo, inclusive encadeados ao processo de produção da própria cadeia produtiva do eucalipto, já que o resíduo aqui utilizado é oriundo do próprio processo de produção do eucalipto, orgânico, rico em carbono e incorpora papeis fundamentais para nutrição de plantas agindo como corretivo de acidez do solo, fonte de cargas elétricas e nutrientes.

AGRADECIMENTOS

À FAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto via Edital PPE-AGRO FAPES/SEAG Nº 06/2015. Ao IFES e à UFES pelo apoio na implantação e manutenção do projeto.

REFERÊNCIAS

1. ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, p. 43-60. 1999.

2. ANDRADE, M. C. N; MINHONI, M. T. A; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, v. 35, p. 183-192, 2010.

3. BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. *In*: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p. 221-278, 2011.

4. DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; DE MELO, I. C. N. A.; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **PLoS ONE**, v. 12, p.11, 2017.

5. EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONG, H.; SARMAH, A. K., A.K.; ZIMMERMAN, A.R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S.M.; OK, Y.S. Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. **Geoderma.** v. 337, p. 536–554, 2019.

6. EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573p. 2017.

7. FARIAS, J. de; MARIMON, B. S.; SILVA, L. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016.

8. FIDEL, R. B.; LAIRD, D. A.; THOMPSON, M. L.; LAWRINENKO, M. Characterization and quantification of biochar alkalinity. **Chemosphere**, v. 167, p. 367–373, 2017.

9. GUL, S.; WHALEN, J. K.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 206, p. 46-59, 2015.

10. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Dados de precipitação. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/sobre>. Acesso em: 05 de ago. 2020.

11. JEFFERY, S.; MEINDERS, M. B. J.; STOOF, C. R.; BEZEMER, T. M.; VAN DE VOORDE, T. F. J.; MOMMER, L.; VAN GROENIGEN, J. W. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 5, P. 53-61, 2017.

12. LEAL, O. dos A.; DICK, D. P.; LOMBARDI, K. C.; MACIEL, V. G.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; KNICKER, H. Soil chemical properties and organic matter composition of a subtropical Cambisol after charcoal fine residues incorporation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 805-815, 2015.

13. LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C., CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota - A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 9, p. 1812-1836, 2011.

14. LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management**: Science and Technology. 2 ed. London: Earthscan, 976 p. 2015.

15. LIMWIKRAN, T.; KHEORUENROMNE, I.; SUDDHIPRAKARN, A.; PRAKONGKEP, N.; GILKES, R. J. Dissolution of K, Ca, and P from biochar grains in tropical soils. **Geoderma**, v. 312, p. 139-150, 2018.

16. MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 107, 2005.

17. MIRANDA, G. M.; SILVA, M. L.; MACHADO, C.C.; LEITE, H. G. Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002.

18. MUKHERJEE, A.; LAL, R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. **Agronomy Journal**. v. 3, p. 313-339, 2013.

19. NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 300p., 1999.

20. NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use: a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 321-344, 2015.

21. OLIVEIRA, F. L. R. de; CABACINHA, C. D.; SANTOS, L. D. T.; BARROSO, D. G.; SANTOS JUNIOR, A. dos; BRANT, M. C.; SAMPAIO, R. A. Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 227-233, 2015.

22. OMONDI, M. O.; XIA, X.; NAHAYO, A.; LIU, X.; KORAI, P. K.; PAN, G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, v. 274, p. 28-34, 2016.

23. PASSOS, R. R.; SILVA, R. W.; BARBOSA, C. F.; MENDONÇA, E. S.; RANGEL, O. J. P. Resíduos potenciais para a produção de biocarvão. In: FERREIRA, A.; LOPES, J. C.; FERREIRA, M. F. S.; SOARES, T. C. V. **Tópicos Especiais em Produção Vegetal** VI. 1. ed., Alegre, ES : CAUFES,. Cap. 25, p. 530-553, 2016.

24. PEIXOTO, R. T. G.; VARGAS, L. M. P.; SILVA; K. da; BOGNOLA, I. A.; SANTOS, L. M. dos; MAIA, C. M. B. D. F. Aspectos dendrométricos de plantio de *Eucalyptus* em solos com biochar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, p. 397-400, 2018.

25. PEREIRA, F. B.; SANTOS, R. C.; LOMBARDI, K. C.; DIAS, A. N.; MAIA, C. M. B. F. Soil oxidizable organic carbon fractions under organic management with industrial residue of roasted mate tea. In: **Functions of natural organic matter in changing environment**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 295-299, 2013.

26. PREZOTTI, L. C; GOMES, J. A; DADALTO, G. G; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo- 5º aproximação**. Vitória, ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO. p. 14-16, 2007

27. R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

28. ROCKWOOD, D. L.; ELLIS, M. F.; LIU, R.; ZHAO, F.; Ji, P.; ZHU, Z.; FABBRO, K. W.; He, Z.; CAVE, R. D. Short Rotation Eucalypts: Opportunities for Biochar. **Forests**, v. 10, n. 4, 314, 2019.

29. SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; Camargo, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p. 636, 2008.

30. SEIXAS, F.; BAUCH, S. C.; OLIVEIRA, J. E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, n.6 7, p.37-43, 2005.

31. SHEN, Q.; HEDLEY, M.; CAMPS ARBESTAIN, M.; KIRSCHBAUM, M. U. F. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus? **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 16, n. 2, p. 268-286, 2016.

32. SILVA, H. K. P.; BRAGATTO, J.; LABATE, C. A. Caracterização da Composição Química da Casca de Cinco Clones Comerciais de Eucalipto. In: **18º Simpósio Internacional de Iniciação Científica**, 2010, Piracicaba. 18º Simpósio Internacional de Iniciação Científica, 2010.

33. SILVA, K.; BOGNOLA, I. A.; PEIXOTO, R. T. G.; SANTOS, L. M.; VARGAS, L. M. P.; MAIA, C. M. B. F. Atividade da urease em plantio de eucalipto com aplicação de biochar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

34. SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Editores). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-74, 2007.

35. TAN, Z.; LIU, L.; ZHANG, L.; HUANG, Q. Mechanistic study of the influence of pyrolysis conditions on potassium speciation in biochar “preparation-application” process. **The Science of the Total Environment**, v. 599-600, p. 207-216, 2017.

36. TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, p. 174, 1995.

37. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. rev.e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

38. TOZZI, F. V. D. N.; COSCIONE, A. R.; PUGA, A. P.; CARVALHO, C. S.; CERRI, C. E. P.; ANDRADE C. A. D. Carbon stability and biochar aging process after soil application. **Horticulture International Journal**, Edmond, v. 3, n. 6, p. 320-329, 2019.

39. WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. O.; GOMES, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, 2018.

40. WROBEL-TOBISZEWSKA, A.; BOERSMA, M.; ADAMS, P.; SINGH, B.; FRANKS, S.; SARGISON, J. Biochar for eucalyptus forestry plantations. **Acta Horticulture**, v. 1108, p. 55-62, 2016.

41. YADAV, K. R.; SHARMA, R. K.; KOTHARI, R. M. Bioconversion of eucaliptus bark waste into soil conditioner. **Bioresource Technology**, New York, v.81 p. 163-165, 2002.

42. ZHU, Q. H.; PENG, X. H.; HUANG, T. Q.; XIE, Z. B.; HOLDEN, N. M. Effect of Biochar Addition on Maize Growth and Nitrogen Use Efficiency in Acidic Red Soils. **Pedosphere**, v. 24, n. 6, p. 699-708, 2014.